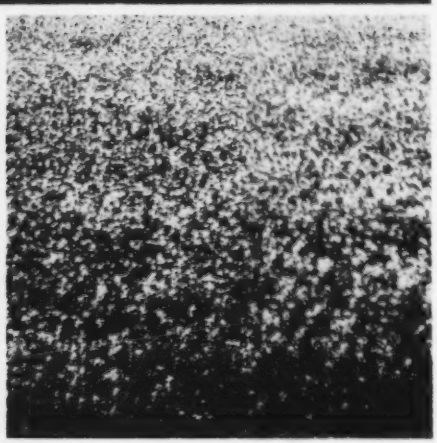
Agriculture
Canada

Publication 1839/E

Benefits of crop rotation

for sustainable agriculture in dryland farming



Canada

Benefits of crop rotation for sustainable agriculture in dryland farming

R.P. Zentner and C.A. Campbell
Research Station
Swift Current, Sask.

H.H. Janzen
Research Station
Lethbridge, Alta.

K.E. Bowren (retired)
Research Station
Melfort, Sask.

Recommendations for pesticide use in this publication are intended as guidelines only. Any application of a pesticide must be in accordance with directions printed on the product label of that pesticide as prescribed under the *Pest Control Products Act*. **Always read the label**. A pesticide should also be recommended by provincial authorities. Because recommendations for use may vary from province to province, your provincial agricultural representative should be consulted for specific advice.

Agriculture Canada Publication 1839/E
available from
Communications Branch, Agriculture Canada
Ottawa K1A 0C7

©Minister of Supply and Services Canada 1990
Cat. No. A53-1839/1990E ISBN 0-662-17272-8
Printed 1990 2.5M-03:90

Également disponible en français sous le titre
Avantages de la rotation des cultures en agriculture de conservation sur les terres non-irriguées.

90-03503/

ACKNOWLEDGMENTS

The authors wish to acknowledge the following scientists from various Agriculture Canada research stations, for their contributions to the preparation of the material for the book entitled *Crop rotation studies on the Canadian prairies*, from which this short version was written:

Drs. L.D. Bailey and C.A. Grant	Brandon, Man..
Dr. G.P. LaFond	Regina, Sask.
Dr. L. Townley-Smith	Melfort, Sask.
Dr. R.D. Tinline and Mr. S.A. Brandt	Saskatoon, Sask.
Dr. H.W. Cutforth	Swift Current, Sask.
Dr. J.R. Byers	Lethbridge, Alta.
Dr. D.W. McAndrew	Lacombe, Alta.
Dr. Y.K. Soon	Beaverlodge, Alta.

As well, we gratefully acknowledge the significant contribution by Jane T. Buckley of Research Program Service, Ottawa, who suggested and compiled the first draft of this publication and who made many valuable editorial comments.

CONTENTS

Acknowledgments 4

Introduction 6

Crop yields and quality 7

Pests 10

Soil moisture 10

Use of fertilizers 12

Soil quality 14

Economics 14

Energy 16

Recommendations 16
- Summer fallow 16
- Perennial forages 18
- Subsequent crops 18
- Fertilizers 18
- Agronomic practices 19
- Crop selection 19
- Environmental quality 19

Limitations 20

Future research 20

INTRODUCTION

Since the early 1900s, Agriculture Canada research stations, situated strategically throughout the soil zones in the Prairie Provinces (Fig. 1) have conducted more than 68 long-term crop rotation studies. Twenty of these studies still continue. This publication, which focuses on the period since the 1950s, summarizes the effects of rotation length, crop sequence, substitute crops for summer fallow, and fertilization using N and P on the following:

- crop production and quality
- pests
- soil moisture
- N and P uptake
- soil quality
- profitability
- energy efficiency.

Highlights from these studies are discussed under each of the topics listed above. Recommendations follow on how to run an efficient, economical, and environmentally responsible farming operation on the Canadian prairies.

Our aim here is to provide a handy booklet of current information and advice for a wide audience on the benefits of crop rotation in dryland farming.

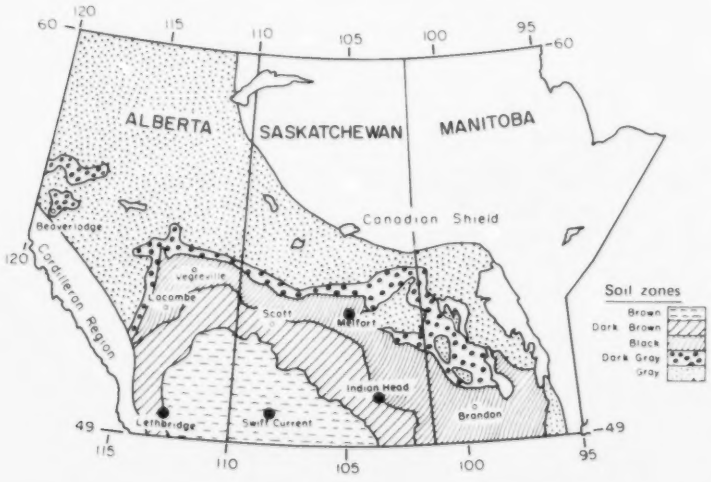


Fig. 1 Location of research stations and major soil zones of the prairie region.

The complete report of Agriculture Canada's recent rotation studies is presented in *Crop rotation studies on the Canadian prairies*. This detailed book is targeted primarily toward the scientific community but is also a useful reference for extension personnel. It will be sold in Canada in 1990 by authorized bookstore agents or can be purchased by mail from:
Canadian Government Publishing Centre
Supply and Services Canada
Hull, Quebec K1A 0S9

CROP YIELDS AND QUALITY

Water and its efficient use is the key to successful crop production in the Brown and Dark Brown soils of western Canada. Allowing some fields to lie idle in summer fallow for a season increases subsequent grain yields per unit of seeded land, but it seldom increases the total annual production of grain from the farm (Fig. 2). In fact, total annual grain production is generally highest for rotations in which land is cropped continuously.

Higher grain yields per seeded area for crops grown after summer fallow than for those seeded on stubble occur because more moisture is available to the former (Fig. 2, *bottom left and right*). For example, in the dry Brown soils, when recommended management practices of stubble mulch tilling and fertilizing are used, yields of wheat seeded on stubble average 71–74% of yields from wheat seeded on fallow. In the moister Dark Brown soils comparable yields average up to 81% and in the wet Black soils up to 88% of yields of fallow-seeded wheat.

Soil testing is important in determining which and what rates of fertilizers to apply. For fallow-seeded crops N fertilizer is rarely required but P fertilizer is; on stubble-seeded crops both N and P fertilizers are generally required.

Grain yields do not seem to decline with time, and in some cases they appear to increase. However, improved crop varieties and production technologies may have masked any decline in yields resulting from losses in soil productivity.

Cropping sequence influences yields, particularly in the Black and Gray soils. Yields of cereal grains are commonly higher when crops are grown on stubble of oilseed crops than on stubble of another cereal. Including flax (Fig. 3) in the rotation sometimes reduced subsequent wheat yields, because flax does not compete well with weeds. However, often its effect on subsequent crops was not clear cut. Rotations that include grass–legume forage or legumes grown as green manure may be practical in the Black and Gray soils. However, their effects on subsequent cereal yields are neither consistent nor always beneficial. In drier regions problems with establishing legumes and the competition they provide for scarce moisture limit their suitability for rotating with cereals.

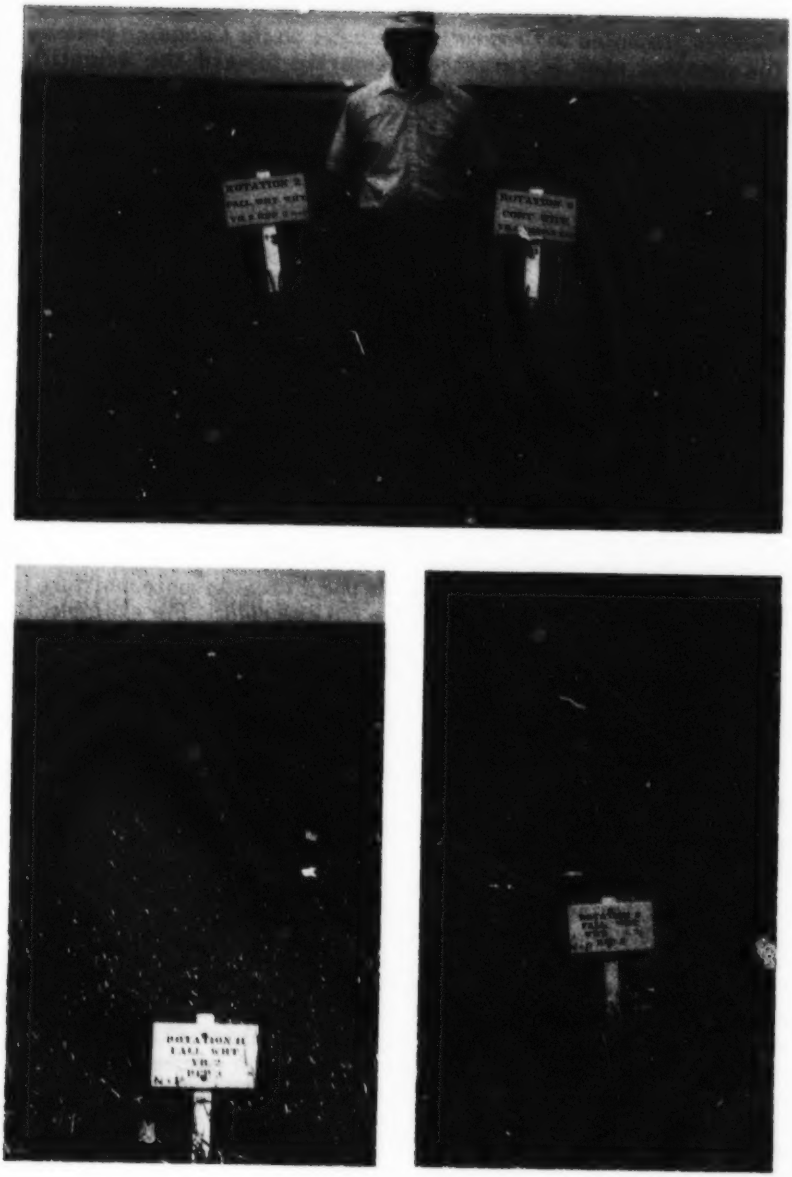


Fig. 2 (*top*) **Little difference between wheat on fallow in fallow–wheat–wheat and continuous wheat in a wet year (1988) at Swift Current, Sask., but wheat on fallow** (*bottom left*) **and wheat on stubble** (*bottom right*) **in a dry year (1984) show why farmers in the drier areas choose fallow.**

Fig. 3 A uniform stand of flax grown in Dark Brown soil at Scott, Sask.

Fig. 4 Grassy weeds are a major deterrent to the use of extended rotations. For example, note millet infestations in continuous spring wheat in a dry year (1988) at Swift Current, Sask.

Grain quality, which is measured by protein content and kernel density, is good under all treatments but generally decreases from the Brown to Dark Brown to Black and Gray soils.

PESTS

Weed problems are least in rotations that include summer fallow or intertilled crops. Both flax and sweetclover are highly susceptible to weed infestation. Cereals grown continuously often succumb to grassy weeds after 5–6 years of cropping (Fig. 4). However, mixed rotations of cereal and forage can help to suppress weeds in the Black and Gray soils.

Plant diseases, such as common root rot in wheat and blackleg and stem rot in canola, are more common in the wet soil regions. To ensure low infestations on the next host crop, the rotation should include at least a 3-year break from susceptible crops. Stem rot, which attacks flax, pulse, clover, and alfalfa, does not attack cereals and grasses, which can thus be used as break crops. Diseases pose fewer problems in the drier conditions of the Brown and Dark Brown soils.

SOIL MOISTURE

The amount of moisture conserved in the soil under the various crop rotations appears not to have changed during the past 30–40 years. However, research into alternative ways of managing crop residues to increase water conservation (e.g., conservation tillage, snow trapping, and deep ripping to aid snowmelt infiltration) promise significant improvement in this regard for the Brown and Dark Brown soils (Fig. 5). Stored moisture directly influences yields in the drier areas but is of less significance in wetter areas. In the Brown and Dark Brown soils, about 33% of the precipitation received in the 9 months between harvest and seeding of cereal crops or crops grown on stubble is stored in the soil. In comparison, only 18–20% of the moisture received in 21 months of fallow is stored in the soil. In the Black and Gray soils, usually less than 10% of moisture commonly received is stored.

Storage of soil moisture in the root zone is important because growing season precipitation is so unpredictable in amounts and distribution. Tillage increases moisture loss from soil, which reduces germination and subsequent vigor of crops. At seeding in the Brown and Dark Brown soils, land lying fallow has, on average, about 40 mm more moisture in the root zone than stubble-covered land. By the time the crop reaches the shot-blade stage of growth, this difference in available moisture disappears. By harvest, no available soil moisture remains stored in either system.

Fig. 5 (*top*) **Chemical fallow or conservation tillage will enhance water stored in soil and reduce erosion;** (*bottom*) **cereal trap strips, constructed at little cost during harvesting, can increase water capture from snow.**

Amount of rainfall and when it falls during the growing season determine grain yields in drier areas. The best yields in all systems result from rainfall received during the grain-filling period. However, for stubble-seeded crops, rainfall at seeding time is also essential for the establishment of seedlings.

Underfertilization reduces both crop yields and residues; thus, less snow is captured and less moisture stored. In drier regions, fertilization must be conservative because of the frequency and unpredictability of drought occurring. Often the well-fertilized crops are the ones that suffer the most during droughts (Fig. 6).

Available soil moisture in a rotation is also much affected by the sequence of crops grown. In the Dark Brown soils, canola and oat hay use less water than does spring wheat. However, combinations of legumes and grass hay use much more water than wheat. Thus with less moisture available, subsequent yields of wheat in forage–wheat rotations generally fall. Use of perennial hay in cereal rotations in drier regions depletes soil moisture much more than does use of annual crops, thus subsequent grain yields can be substantially reduced for several years. In the wetter Black and Gray soils, perennial hay rarely affects subsequent yields of grain crops because soil moisture is usually adequate.

The efficiency of moisture use for well-fertilized wheat grown either on fallow or stubble on the Brown soils has increased over the past 40 years. This change reflects improvements in crop management and in varieties of wheat. In the Dark Brown soils, the efficiency of moisture use for spring wheat is similar to that measured on Brown soils. Values are much greater on the Black and Dark Gray soils.

USE OF FERTILIZERS

Considerable leaching of nitrates below the rooting depth of spring wheat is a problem that occurs periodically even in the normally dry Brown soils. Leaching is greatest under fallow and in wet years. Loss of available N is reduced in three ways:

- by managing fertilizers properly
- by using continuous cropping
- by growing fall-seeded crops such as fall rye.

Available P in surface soil is enriched by frequent application of fertilizer, especially when a crop is present and where heavy-textured soils exist. Changes in available P are related to temperature and moisture.

Uptake of N and P by plants is related directly to the amount of dry matter produced. In the Black and Gray soils, incorporating legumes and grasses in soil enriches the amount of N available to the subsequent crop. In some cases both yield and protein content of grain show increase; in others only the protein increases.

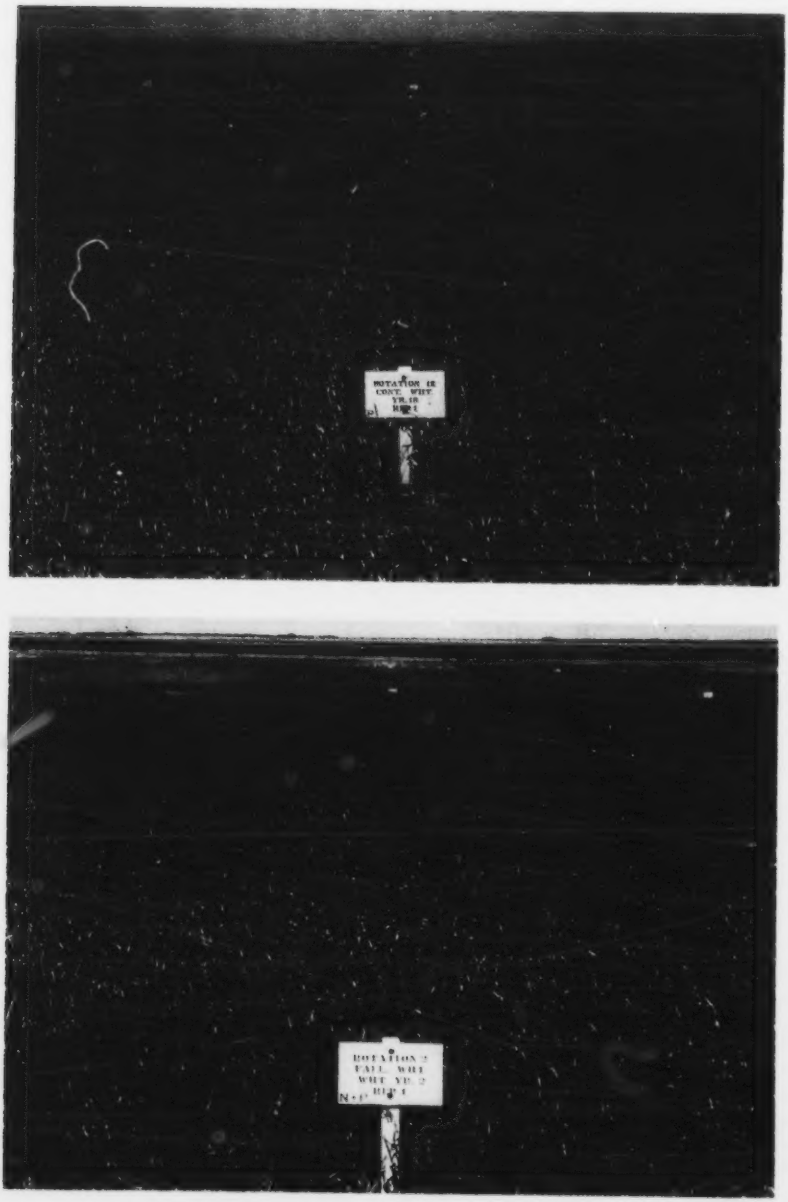


Fig. 6 (*top*) **Well-fertilized crop uses water too rapidly at first and runs out of water early in dry years;** (*bottom*) **less well fertilized crop uses water more slowly and water availability persists later into a dry year (Swift Current July 1984).**

SOIL QUALITY

Frequent fallowing and excessive tillage undeniably degrade soil quality in the long term. Poorer soil quality is evident from the following characteristics:

- loss of organic matter
- poorer quality of organic matter
- reduced microbial activity
- greater incidence of soil crusting
- greater susceptibility to erosion.

Fertilizing according to soil test recommendations and extending the rotation length may increase the soil organic matter and improve soil quality, particularly for soils of low organic matter or those that were previously degraded.

Although the application of N fertilizer lowers the soil's pH, the effect is insufficient to warrant concern in the short term.

In Black and Gray soils, the amount and quality of soil organic matter can be maintained by including legumes in the rotation, either for green manure or as forage (Fig. 7, *top*). However, the quality of soils under mixed rotations is usually no better than that under adequately fertilized continuous wheat. In the Brown and Dark Brown soils, moisture limitations restrict the use of biennial or perennial legumes with cereals, but research to find appropriate, annual, legume green manure crops is in progress (Fig. 7, *bottom*).

ECONOMICS

Despite the long-term benefits obtained from continuous cropping, producers often choose rotations that include fallow for reasons of short-term economic survival. For example, in the Brown and Dark Brown soils, net returns are often much higher for rotations that include fallow. Deterrents to the use of extended crop rotations in these soils include the following:

- higher cash outlay for more fertilizers, herbicides, and capital items
- greater risk of financial loss because of highly variable weather during the growing season.

In the Brown soils, despite some extra cost and risk, producers would benefit financially by adopting a 3-year rotation of fallow–wheat–wheat rather than the traditional 2-year rotation of fallow–wheat. In the Brown and Dark Brown soils, it is unknown whether extending rotations beyond 3 years would be more, or less, profitable. A method for determining reserves of soil moisture in spring could help producers to estimate whether stubble cropping carries an acceptable financial risk.

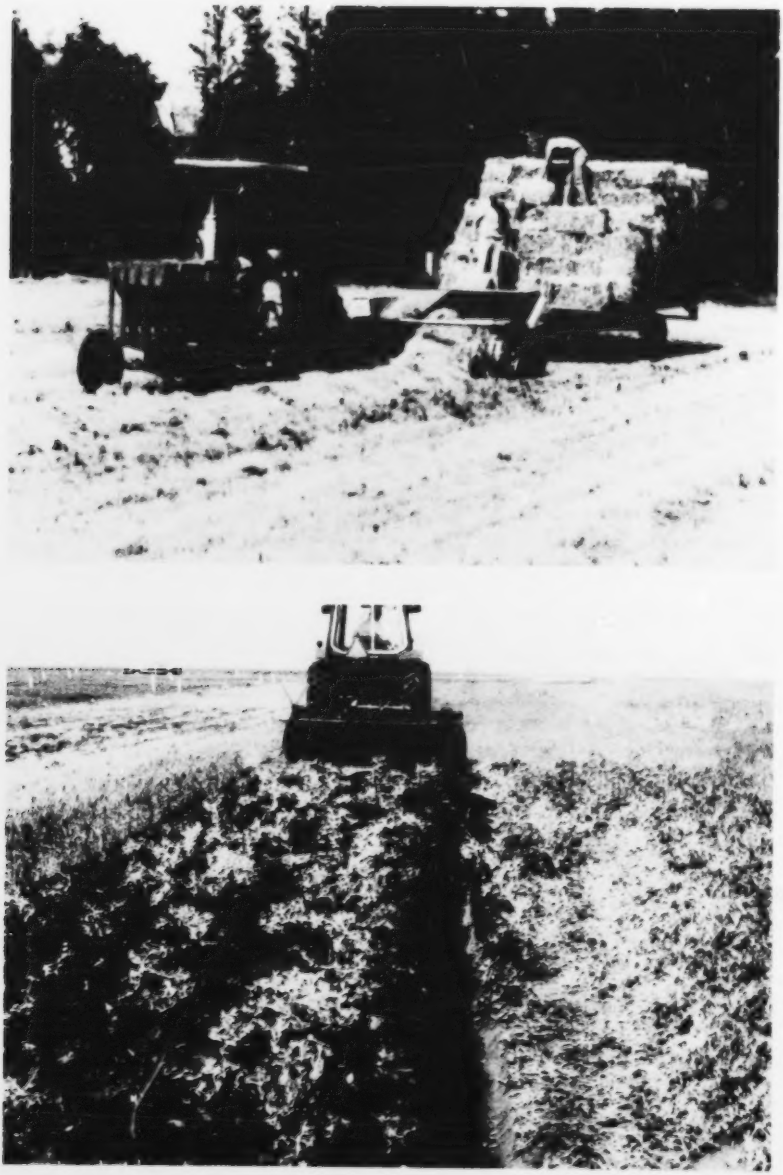


Fig. 7 (*top*) **Forage crops play a significant role in maintaining soil quality in crop rotations in wetter areas;** (*bottom*) **in drier areas the search for appropriate annual legume green manure crops is promising. (The photo shows discing-in field peas for green manure at Swift Current).**

In the Black soils, producers have the widest choice of cropping systems. The following rotations are all economically attractive depending on costs and prices:

- cereals only (Fig. 8, *top*)
- cereals and oilseeds (Fig. 8, *bottom*)
- cereals and forages
- cereals, legumes for green manure, and summer fallow.

Monoculture of wheat sometimes carries greater input costs and financial risk because of increased problems with weeds, diseases, and insects.

ENERGY

Only since the energy crisis of the early 1970s have producers considered the efficient use of nonrenewable energy in determining crop rotations. Two types of energy are directly related to cropping intensity:

- nonrenewable energy used in farming
- metabolizable energy returned in grain for human consumption.

For example, continuously cropped wheat uses nearly twice as much energy as a 2-year rotation of fallow–wheat. However, continuously cropped wheat produces 55% more metabolizable energy annually.

In contrast, energy use efficiency, both in terms of the ratio of energy output to input and amount of grain produced per unit of energy used, are lowest for continuous rotations and highest for rotations that include fallow. Legumes included in the rotation considerably reduce the need for additional N fertilizer and thus improve energy efficiency.

RECOMMENDATIONS

Summer fallow

Summer fallow remains a legitimate option in the cropping systems of western Canada. Its role and recommended use depend on the interaction of soil, climate, and economic variables. In the Brown and Dark Brown soils where moisture stress is the main factor limiting yields, use summer fallow and snow management techniques to replenish soil moisture and thus reduce economic risks. In the Black and Gray soils where moisture is usually sufficient, use summer fallow only to control otherwise unmanageable pests or when drought threatens.

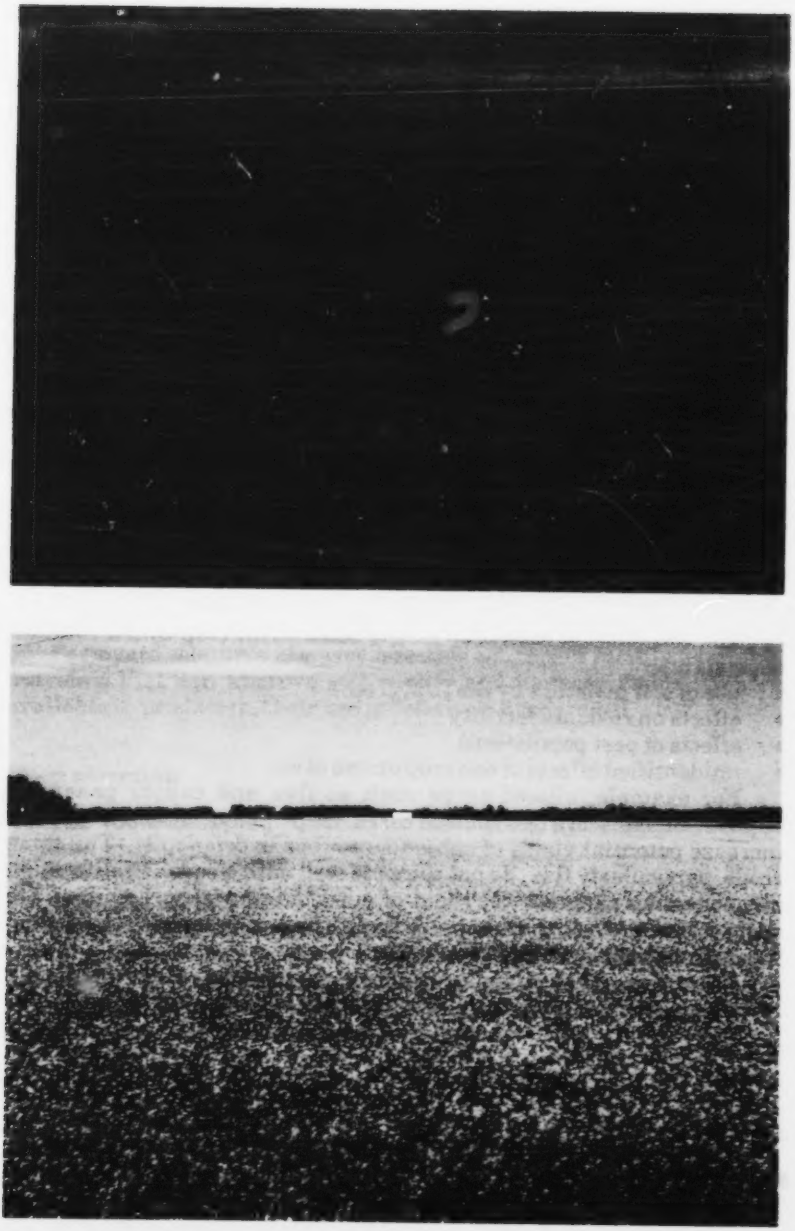


Fig. 8 (*top*) **On the prairies spring wheat is "king";** (*bottom*) **but oilseed crops such as canola are adapted to the cool wetter areas and can be quite profitable.**

To minimize the soil degradation associated with fallow:

- reduce the frequency of fallow in the rotation to once every 3 or 4 years in the Brown and Dark Brown soils
- use partial fallows (e.g., green manure or cereal hay crops) in the Black and Gray soils
- adopt soil management techniques that conserve crop residues (e.g., stubble mulching).

For best weed control on summer fallow apply herbicides such as 2,4-D in late fall or early spring, which will allow delay of the first tillage until early summer.

Perennial forages

In the Black, Dark Gray, and Gray soils, perennial forages included in crop rotations improve soil quality, crop nutrition, and crop yields. Extended rotations of spring wheat with several years of forage for hay generate favorable net economic returns.

In the Brown and Dark Brown soils, deep-rooted perennial forages remove too much soil moisture, so they are not recommended for use in cereal-based rotations.

Subsequent crops

The influence of each crop on the subsequent crop in the rotation depends on:

- use of soil moisture by the first crop
- effects on residual fertility
- effects of pest populations
- unidentified effects of one crop on the other.

For example, oilseed crops such as flax and canola generally deplete soil moisture less than do cereal crops. Thus oilseed crops may increase potential yields of subsequent crops in drier soils. The same crops, particularly flax, do not compete well with weeds. Proliferation of weeds may suppress the yield of subsequent crops. Legumes are suspected of providing other crops in rotation with benefits other than those produced by nitrogen fixation.

Regardless of the cropping system used, rotating crops periodically helps to control certain weeds, diseases, and insects.

Fertilizers

Intensive cropping systems lead to declining fertility in indigenous soils, so fertilizers become progressively important in rotation farming. Fertilizers used appropriately, generally increase expected net returns by increasing yields. Fertilizers also

- increase efficiency of moisture use by stimulating root growth
- improve snow-trapping and moisture conservation by increasing crop residues on the soil surface

- enhance long-term productivity of soil by increasing the content and quality of organic matter.

Their use may *not* be appropriate in rotations with high frequency of fallow or legumes, or when costs of fertilizers are high.

Although ammonium-based fertilizers may lower the pH value of the soil, in most soils acidification may only become a significant problem after many years.

Agronomic practices

Agronomic practices greatly affect soil quality in long-term crop rotations. In fact, by adopting economically viable, conservation-oriented management practices, soil productivity can be maintained at acceptable levels. After initial cultivation, the concentration of organic matter in most soils declines. The appropriate use of crop sequences, tillage practices, and fertilizers can halt or even reverse such declines. Yields of crops grown on arable land have generally increased over the years. It is not clear how much the increase results from varietal and technological advances and how much from the dynamics of soil quality. A decline in soil productivity is not necessarily inevitable for all producers, despite predictions.

Fall tillage is discouraged in the Dark Brown and Brown soils but may offer some advantage in more humid regions where crop residues are excessive.

Farmyard manures are very effective sources of readily available nutrients that will improve soil quality and increase yields. Where available to producers, their use is definitely encouraged.

Crop selection

The ideal cropping system in most conditions must remain flexible, with crops selected in response to:

- soil moisture reserves
- economic variables
- infestations of weeds or pests.

Crop sequences can now be sufficiently flexible to exploit changes in economic and agronomic conditions. Although most producers have long-term cropping strategies, short-term revisions in response to economic and climatic factors are encouraged.

Environmental quality

In decisions regarding cropping strategies, consider not only short-term benefits but also their long-term effects on the quality of the soil and environment. Agronomic practices strongly influence

- concentrations of organic matter
- soil erodibility
- soil pH

- soil biota activity
- soil structure and tilth
- other indices of soil quality.

Less well known, but equally important to consider, are the effects of various cropping practices on the environment by the following mechanisms:

- nitrate leaching
- evolution of carbon dioxide and oxides of nitrogen
- contamination of groundwater with pesticides
- accumulation of pesticides in soil and farm produce.

All these ramifications must be considered in the design of optimum cropping systems.

LIMITATIONS

These recommendations are based on the results of rotation experiments that have certain inherent limitations. Rotation studies are limited to a few sites. For example, Swift Current, the only site in the Brown soils is usually much wetter than most soils in this zone. Most results are from relatively productive soils of uniform topography and medium texture. Results are also affected by

- limited number of crops examined
- lack of replication in some long-term studies
- possible confounding effects of gradual changes in cultivars and management practices over time.

Because agronomic practices change, those management systems currently recommended generally may not have been studied over the long term.

FUTURE RESEARCH

Several agronomic facets deserve more detailed examination or can be improved upon in future studies of crop rotations. Little information is yet available on the influence of cropping practices on infestations by weeds, diseases, and insects.

Study of soil parameters is limited to few experiments. Cropping practices or components that deserve particular emphasis in the future include:

- organic, or sustainable, production systems
- flexible cropping systems that reduce economic risk without resorting to frequent fallowing
- partial fallow systems such as legume green manuring, especially annuals for the drier regions
- more effective management of snow in drier regions

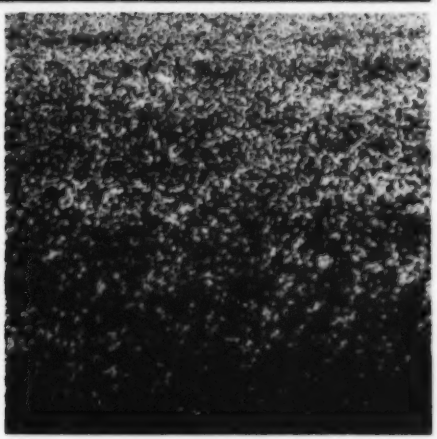
- more diverse cropping systems using a greater variety of crop species
- the effect of flax on subsequent crops in rotation
- conservation tillage and its consequences for maintenance of soil and environmental quality.

There is a real need for a comprehensive, team-oriented approach to research in crop rotations for sustainable agriculture.

Agriculture Canada

Publication 1839/F

Avantages de la rotation des cultures en agriculture de conservation sur les terres non-irriguées



Canada

Avantages de la rotation des cultures en agriculture de conservation sur les terres non-irriguées

R.P. Zentner et C.A. Campbell
Station de recherches de
Swift Current (Sask.)

H.H. Janzen
Station de recherches de
Lethbridge (Alb.)

K.E. Bowren (à la retraite)
Station de recherches de
Melfort (Sask.)

Les recommandations d'utilisation des pesticides contenues dans le présent document ne sont données qu'à titre indicatif. Toute application d'un pesticide doit se faire conformément aux indications imprimées sur l'étiquette du produit pesticide, tel que stipulé par la *Loi sur les produits antiparasitaires*. **Il faut toujours lire l'étiquette.** Le pesticide doit également être recommandé par les autorités provinciales. Comme les recommandations d'utilisation peuvent varier d'une province à une autre, veuillez consulter votre conseiller agricole provincial pour des questions plus particulières.

Publication d'Agriculture Canada 1839/F
On peut s'en procurer des exemplaires à la
Direction générale des communications d'Agriculture Canada
Ottawa K1A 0C7

©Ministère des Approvisionnements et Services Canada 1990
N° de cat. A53-1839/1990F ISBN 0-662-95659-1
Imprimé en 1990 1,5M-03 : 90

Also available in English under the title
Benefits of crop rotation for sustainable agriculture in dryland farming

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier les chercheurs suivants, provenant de diverses stations de recherches d'Agriculture Canada, pour l'aide précieuse qu'ils ont apporté à la préparation du livre intitulé *Crop rotation studies on the Canadian prairies* dont on a tiré cette courte version.

Dr L.D. Bailey et C.A. Grant	Brandon (Man.)
Dr G.P. LaFond	Indian Head (Sask.)
Dr L. Townley-Smith	Melfort (Sask.)
Dr R.D. Tinline et M. S.A. Brandt	Saskatoon (Sask.)
Dr H.W. Cutforth	Swift Current (Sask.)
Dr J.R. Byers	Lethbridge (Alb.)
Dr D.W. McAndrew	Lacombe (Alb.)
Dr Y.K. Soon	Beaverlodge (Alb.)

Nous tenons à remercier également Normand Rousseau, éditeur scientifique au Service aux programmes de recherche, qui a assuré l'édition de la version française de cette brochure.

TABLE DES MATIÈRES

Remerciements 4

Introduction 6

Rendement et qualité des cultures 7

Parasites 10

Humidité du sol 11

Utilisation des engrais 14

Qualité des sols 14

Aspects économiques 15

Énergie 18

Recommandations 18
- Jachère d'été 18
- Fourrages vivaces 19
- Cultures subséquentes 19
- Engrais 19
- Pratiques culturales 20
- Choix des cultures 20
- Qualité de l'environnement 21

Restrictions 21

Recherches à venir 22

INTRODUCTION

Depuis le début du siècle, les stations de recherches d'Agriculture Canada, situées en des endroits stratégiques à l'intérieur des zones de sol des provinces des Prairies (fig. 1), ont mené plus de 68 études à long terme sur la rotation des cultures. Vingt de ces études sont encore en cours. Le présent document, qui porte sur la période allant des années 50 à aujourd'hui, résume les effets de la durée de rotation, des séquences de culture, des cultures de remplacement pour la jachère d'été et de la fertilisation à l'aide de N et de P, en ce qui a trait aux aspects suivants :

- production et qualité des cultures
- parasites
- humidité des sols
- absorption de N et de P
- qualité des sols
- rentabilité
- efficacité énergétique

Les principaux points de ces études sont examinés pour chacun des aspects indiqués ci-dessus. Suivent des recommandations sur la façon de gérer une exploitation agricole de manière efficace, économique et responsable sur le plan environnemental dans les Prairies canadiennes.

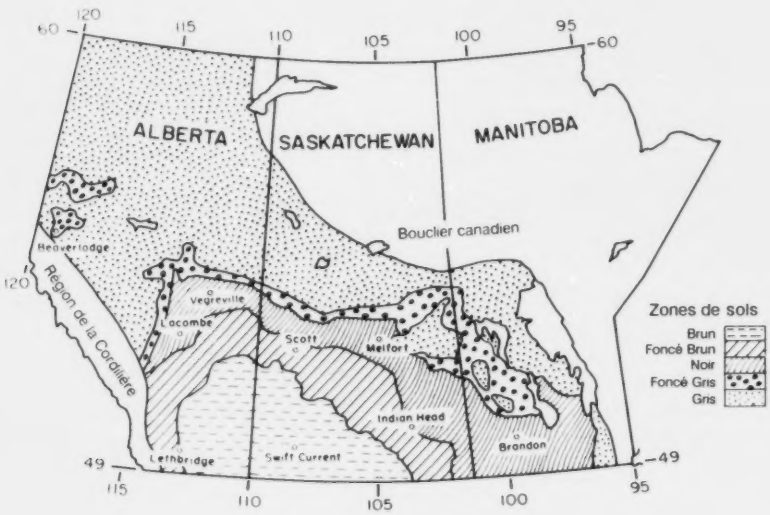


Fig. 1 Emplacement des stations de recherches et des principales zones de sol de la région des Prairies.

Notre objectif est d'offrir à un large public une brochure pratique d'informations et de conseils courants sur les avantages de la rotation des cultures sur les terres non-irriguées.

Le rapport complet des dernières études sur la rotation des cultures à Agriculture Canada est présenté dans *Crop rotation studies on the Canadian prairies*. Ce livre détaillé s'adresse principalement à la communauté scientifique, mais peut également s'avérer une référence utile pour le personnel de vulgarisation. On pourra se le procurer dans le commerce au Canada en 1990 chez les libraires autorisés ou immédiatement par courrier à l'adresse suivante :
Centre de publication du gouvernement du Canada
Approvisionnements et Services Canada
Hull (Qc) K1A 0S9

RENDEMENT ET QUALITÉ DES CULTURES

L'eau et son utilisation efficace sont la clé de la réussite en production agricole sur les sols bruns et brun foncé de l'ouest du Canada. Le fait de laisser certains champs en jachère durant une saison permet d'augmenter le rendement céréalier subséquent par unité de terres ensemencées, mais permet rarement d'augmenter la production totale de grain annuelle de la ferme (fig. 2). En fait, la production céréalière totale est habituellement plus forte pour les rotations dans lesquelles la terre est cultivée continuellement.

Les rendements céréaliers des surfaces ensemencées pour les cultures produites après la jachère d'été sont plus élevés que ceux des surfaces ensemencées sur chaume en raison d'une plus grande humidité (fig. 2, *gauche et droite en bas*). Par exemple, sur les sols bruns secs, lorsque l'on a recours aux pratiques recommandées de culture en déchaumage superficiel et de fertilisation, les rendements de blé ensemencé sur chaume sont en moyenne de 71 à 74 % des rendements du blé ensemencé sur jachère. Dans les sols brun foncé les plus humides, les rendements peuvent atteindre en moyenne 81 %, et dans les sols noirs jusqu'à 88 % des rendements du blé ensemencé sur jachère. L'analyse des sols est importante pour choisir les engrais et déterminer les taux d'application. Pour les cultures ensemencées sur jachère, les engrais azotés sont rarement nécessaires, mais les engrais phosphatés le sont. Pour les cultures ensemencées sur chaume, les engrais azotés et phosphatés sont habituellement requis.

Les rendements céréaliers ne semblent pas diminuer avec le temps et, dans certains cas, ils semblent même augmenter. Cependant, l'amélioration des variétés et des techniques de production peut masquer une diminution des rendements causée par la perte de productivité du sol.

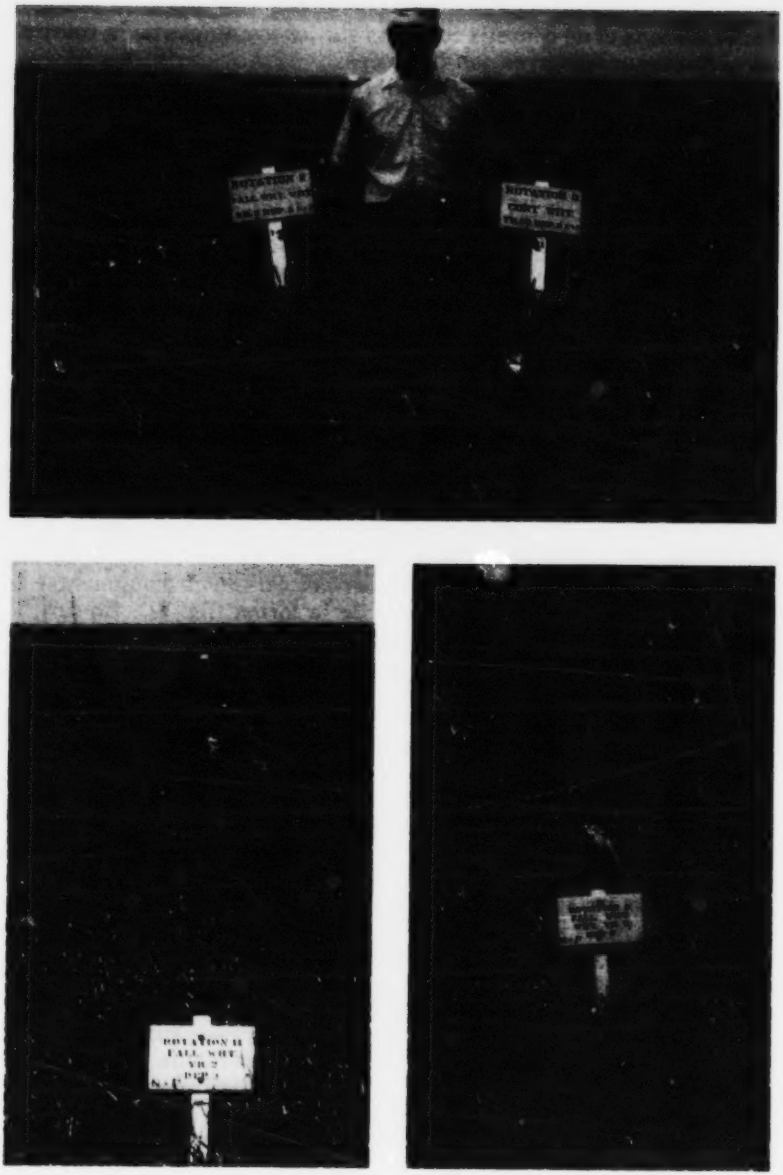


Fig. 2 (*haut*) **On observe peu de différence entre la culture du blé en jachère—blé—blé et en blé continu lors d'une année humide (1986) à Swift Current (Sask.), mais la différence entre blé sur jachère** (*en bas à gauche*) **et blé sur chaume** (*en bas à droite*) **lors d'une année sèche (1984) explique pourquoi les agriculteurs des régions sèches choisissent la jachère.**

La séquence de culture influe sur le rendement, en particulier sur les sols noirs et gris. Les rendements céréaliers sont couramment plus élevés lorsque les cultures sont produites sur du chaume d'oléagineux plutôt que sur du chaume d'autres céréales. Le fait d'inclure du lin (fig. 3) dans la rotation entraîne parfois une réduction des rendements du blé, car le lin concurrence mal les mauvaises herbes. Cependant, ses effets sur les cultures subséquentes ne sont souvent pas bien définis. Les rotations qui comprennent des fourrages de graminées—légumineuses ou des légumineuses cultivées pour l'affouragement en vert peuvent s'appliquer aux sols noirs et gris. Cependant, leurs effets sur les rendements céréaliers subséquents ne sont ni uniformes ni toujours avantageux. Dans les régions plus sèches, les problèmes d'établissement des légumineuses et la concurrence qu'elles font pour s'approprier la faible humidité disponible font qu'elles conviennent moins à la rotation avec les céréales.

La qualité des grains, qui est mesurée par la teneur en protéines et la densité du grain, est bonne avec tous les traitements, mais baisse généralement lorsqu'on passe des sols bruns et brun foncé à noirs et gris.

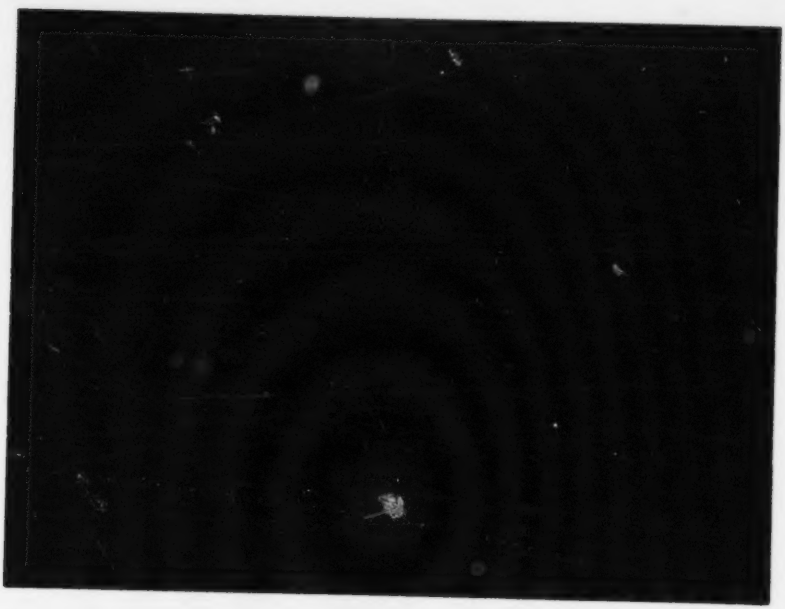


Fig. 3 Une culture uniforme de lin sur sol brun foncé à Scott (Sask.).

PARASITES

Les problèmes relatifs aux mauvaises herbes sont réduits dans les rotations qui comprennent une jachère d'été ou des cultures intercalaires. Le lin et le trèfle sont très sensibles à l'infestation des mauvaises herbes. Les céréales cultivées en continu sont souvent envahies par les mauvaises herbes graminées après 5 à 6 ans de culture (fig. 4). Cependant, des rotations mélangées de céréales et de fourrages peuvent contribuer à éliminer les mauvaises herbes sur les sols noirs et gris.

Les maladies des plantes telles que le piétin commun chez le blé, la pourriture de la tige et la jambe noire du colza sont fréquentes dans les régions à sols humides. Afin de limiter les infestations pour la culture hôte suivante, la rotation devrait comprendre un arrêt d'au moins 3 ans entre les cultures susceptibles à ces maladies. La pourriture de la tige qui s'attaque au lin, aux légumes secs, au trèfle et à la luzerne ne s'attaque pas aux céréales et aux graminées et par conséquent les céréales peuvent être utilisées pour briser le cycle de ces maladies. Les maladies causent moins de problèmes aux sols bruns et brun foncé en conditions non-irriguées.

Fig. 4 Les mauvaises herbes graminées ont un effet dissuasif important sur les rotations prolongées. Par exemple, observez l'infestation de millet dans une culture continue de blé de printemps lors d'une année sèche (1988) à Swift Current (Sask.).

HUMIDITÉ DU SOL

La quantité d'humidité conservée dans le sol avec les diverses rotations de cultures semble ne pas avoir changé au cours des 30 à 40 dernières années. Cependant, les recherches menées sur d'autres façons de traiter les résidus de culture afin d'augmenter la conservation de l'eau (par exemple, labour de conservation, retenue de la neige et travail profond du sol pour aider l'infiltration des eaux de fonte des neiges) laissent espérer des améliorations importantes à cet égard pour les sols bruns et brun foncé (fig. 5). L'humidité emmagasinée influe directement sur les rendements dans les régions sèches, mais a moins d'importance dans les régions humides. Sur les sols bruns et brun foncé, environ 33 % des précipitations reçues durant la période de 9 mois allant de la récolte aux semis de cultures de céréales ou de cultures sur chaume sont conservés dans le sol. Alors que seulement 18 à 20 % de l'humidité reçue en 21 mois de jachère est conservée dans le sol. Sur les sols noirs et gris, c'est habituellement moins de 10 % de l'humidité couramment reçue qui est conservée.

Le stockage de l'humidité du sol dans la zone des racines est importante car les précipitations de la saison de croissance sont très imprévisibles en quantité et en répartition. Le labour augmente la perte d'humidité du sol, ce qui réduit la germination et subséquemment la vigueur des cultures. Lors des semis sur les sols bruns et brun foncé, les terres en jachère ont, en moyenne, environ 40 mm d'eau en plus dans la zone des racines que les terres recouvertes de chaume. Au moment où la culture atteint le stade d'épiage, cette différence d'humidité disponible disparaît. Au moment de la récolte, les réserves d'humidité du sol ont disparu dans les deux systèmes.

Le volume et le moment des précipitations durant la saison de croissance déterminent les rendements céréaliers dans les régions sèches. Dans tous les systèmes, les meilleurs rendements sont dus aux précipitations reçues durant la période de remplissage du grain. Cependant, pour les cultures semées sur chaume, les précipitations au moment des semis sont également essentielles à l'établissement des pousses.

La sous-fertilisation réduit à la fois le rendement des cultures et les résidus, ce qui a pour résultat de retenir moins de neige et d'emmagasiner moins d'humidité. Dans les régions plus sèches, la fertilisation ne doit pas être excessive, en raison de la fréquence et de l'imprévisibilité de la sécheresse. Les cultures bien fertilisées sont souvent celles qui souffrent le plus durant la sécheresse (fig. 6).

L'humidité disponible du sol en rotation dépend également beaucoup de la séquence des cultures. Sur les sols brun foncé, le canola et le foin d'avoine utilisent moins d'eau que le blé de printemps. Cependant, les mélanges de légumineuses et de foin de graminées utilisent beaucoup plus d'eau que le blé. Ainsi, avec une humidité

Fig. 5 (*haut*) **La jachère chimique et le labour de conservation permettent d'accroître les réserves d'eau du sol et de réduire l'érosion;** (*bas*) **des structures de retenue construites à peu de frais durant la récolte des céréales peuvent permettre d'accroître les réserves d'eau par la retenue de la neige.**

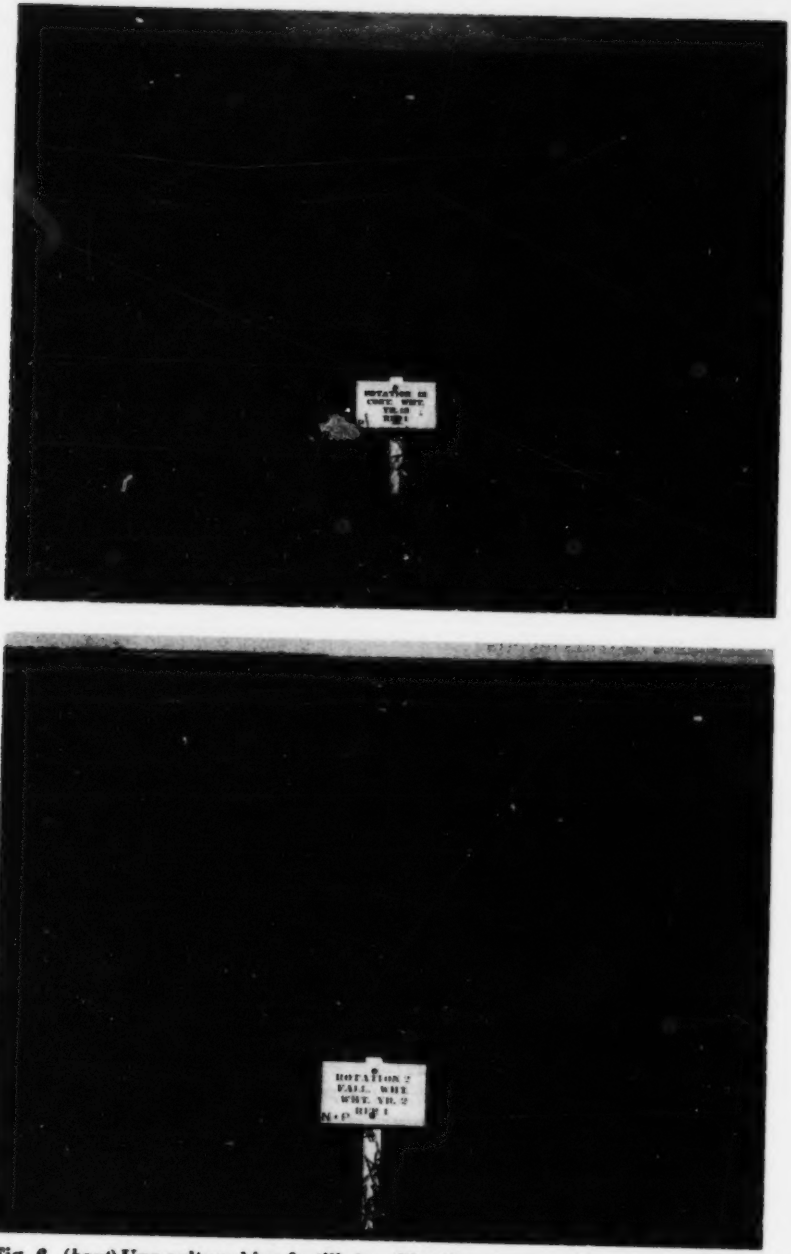


Fig. 6 (*haut*) **Une culture bien fertilisée utilise l'eau trop rapidement au début et manque rapidement d'eau durant les années sèches;** (*bas*) **une culture moins bien fertilisée utilise l'eau plus lentement et les réserves d'eau durent plus longtemps durant une année sèche (Swift Current, juillet 1984).**

disponible moindre, le rendement du blé dans les rotations fourrage—blé diminue généralement. L'utilisation de foin vivace en rotations céréalières dans les régions sèches épuise l'humidité du sol beaucoup plus que ne le font les cultures annuelles, ce qui peut réduire les rendements céréaliers subséquents de façon substantielle durant plusieurs années. Sur les sols noirs et gris plus humides, le foin vivace influe rarement sur les rendements subséquents des cultures céréalières car l'humidité du sol est habituellement suffisante.

L'efficacité de l'utilisation de l'humidité pour le blé bien fertilisé cultivé sur jachère ou sur chaume sur les sols bruns s'est accrue au cours des 40 dernières années. Ce changement réflète l'amélioration de la gestion des cultures et des variétés de blé. Sur les sols brun foncé, l'efficacité de l'utilisation de l'humidité pour le blé de printemps est similaire à celle mesurée sur les sols bruns. Les chiffres sont bien supérieurs sur les sols noirs et gris foncé.

UTILISATION DES ENGRAIS

Un lessivage important des nitrates sous le niveau des racines du blé de printemps se produit périodiquement, même dans les sols bruns normalement secs. Le lessivage est le plus important sous jachère et durant les années humides. On peut réduire les pertes de N assimilable de trois façons :

- par une bonne gestion des engrais
- par une culture continue
- en produisant des cultures semées en automne comme le seigle d'automne

Le P assimilable dans le sol de surface est enrichi par une application fréquente d'engrais, en particulier avec une culture et sur des sols à texture lourde. Les changements du P assimilable sont causés par la température et au taux d'humidité.

L'assimilation de N et de P par les plantes est directement fonction de la quantité de matière sèche produite. Sur les sols noirs et gris, le fait d'incorporer des légumineuses et des graminées dans le sol accroît la quantité de N assimilable pour la culture suivante. Dans certains cas, le rendement et la teneur en protéines du grain augmentent tous deux; dans d'autres, seule la teneur en protéines s'accroit.

QUALITÉ DES SOLS

Un recours fréquent à la jachère et un labour excessif réduisent sûrement la qualité des sols à long terme. Un sol de faible qualité présente les caractéristiques suivantes :

- perte de matière organique
- matière organique de mauvaise qualité

- activité microbienne réduite
- accroissement de l'encroûtage du sol
- plus grande sensibilité à l'érosion

La fertilisation conformément aux recommandations faisant suite aux analyses du sol et l'allongement de la période de rotation peuvent permettre d'augmenter le volume de matière organique et la qualité du sol, notamment pour les sols pauvres en matières organiques ou ayant été précédemment appauvris.

Bien que l'application d'engrais azotés abaisse le pH du sol, l'effet est insuffisant pour justifier que l'on s'en préoccupe à court terme.

Sur les sols noirs et gris, on peut maintenir la quantité et la qualité des matières organiques du sol en incorporant des légumineuses dans la rotation, soit pour l'affouragement en vert soit comme fourrage (fig. 7, *haut*). Cependant, la qualité des sols en rotations mélangées n'est habituellement pas meilleure que celle des sols de culture continue en blé suffisamment fertilisés. Sur les sols bruns et brun foncé, le niveau d'humidité limite l'utilisation de légumineuses bisannuelles ou vivaces avec les céréales, mais les recherches visant à trouver des variétés de légumineuses d'affouragement en vert annuelles appropriées progressent (fig. 7, *bas*).

ASPECTS ÉCONOMIQUES

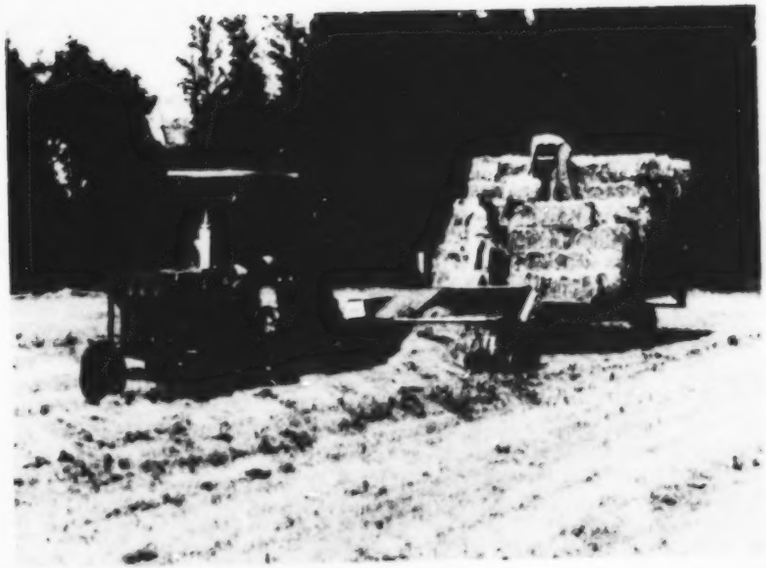
Malgré les avantages à long terme obtenus avec la culture continue, les producteurs choisissent souvent les rotations, comprenant la jachère, pour des raisons de survie économique à court terme. Par exemple, sur les sols bruns et brun foncé, les revenus nets sont souvent beaucoup plus élevés pour les rotations qui incluent la jachère. Parmi les éléments de dissuasion du recours à des rotations de culture prolongées sur ces sols, on peut citer les :

- dépenses accrues pour plus d'engrais, d'herbicides et d'équipement
- risques plus grands de pertes financières en raison de la grande variabilité durant la saison de croissance.

Sur les sols bruns, malgré des coûts et des risques supplémentaires, les producteurs obtiendraient un avantage financier en adoptant une rotation de 3 ans de jachère—blé—blé plutôt que la rotation traditionnelle de 2 ans de jachère—blé. Sur les sols bruns et brun foncé, on ne sait pas si l'allongement des rotations au-delà de 3 ans serait avantageux. Une méthode permettant d'évaluer les réserves d'humidité du sol au printemps pourrait aider les producteurs à déterminer si la culture sur chaume présente un risque financier acceptable.

Sur les sols noirs, les producteurs disposent du choix le plus large de systèmes de culture. Les rotations suivantes sont toutes économiquement avantageuses en fonction des coûts et des prix :

- céréales seulement (fig. 8, *haut*)
- céréales et oléagineux (fig. 8, *bas*)



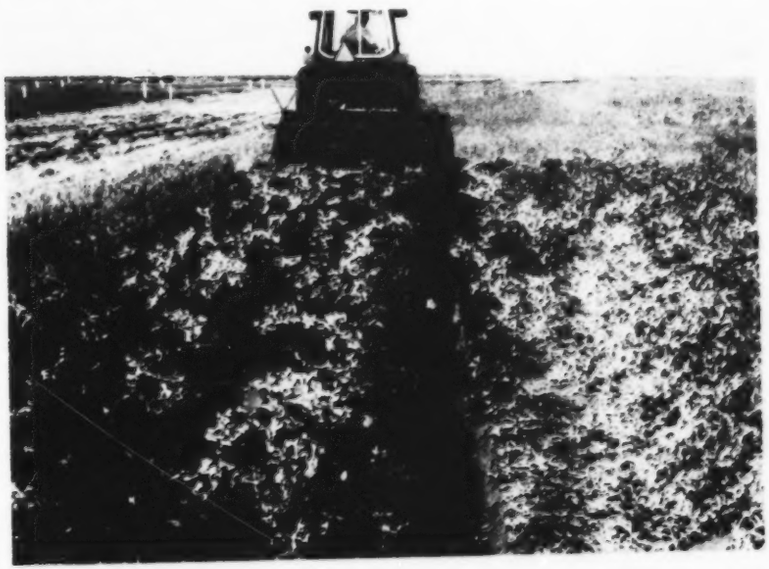


Fig. 7 (*haut*) **Les cultures fourragères jouent un rôle important dans le maintien de la qualité du sol en rotation de cultures dans les régions humides;** (*bas*) **dans les régions plus sèches, la recherche de variétés fourragères légumineuses annuelles est prometteuse. (La photo illustre la plantation de pois de grande culture destinés à l'affouragement en vert à Swift Current).**

Fig. 8 (*haut*) **Dans les Prairies, le blé de printemps est «roi»;** (*bas*) **mais les oléagineux comme le canola conviennent aux régions humides et fraîches et peuvent être rentables.**

- céréales et fourrages
- céréales, légumineuses pour affouragement en vert et jachère d'été.

La monoculture du blé entraîne parfois une augmentation des coûts des facteurs de production et des risques financiers en raison de problèmes accrus de mauvaises herbes, de maladies et d'insectes.

ÉNERGIE

Ce n'est que depuis la crise énergétique du début des années 70 que les producteurs tiennent compte de l'utilisation efficace des énergies non-renouvelables dans la détermination des rotations de culture. Deux types d'énergie sont directement reliés à l'intensité des cultures :

- l'énergie non-renouvelable utilisée en agriculture
- l'énergie métabolisable récupérée dans les grains destinés à la consommation humaine.

Par exemple, la culture continue du blé utilise près de deux fois plus d'énergie qu'une rotation de 2 ans de jachère—blé. Cependant, le blé de culture continue produit annuellement 55 % de plus d'énergie métabolisable.

Par contre, l'efficacité de l'utilisation d'énergie, tant en ce qui a trait au ratio d'énergie produite sur le facteur de production qu'à la quantité de grain produite par unité d'énergie utilisée, est plus faible pour les rotations continues et plus élevée pour les rotations avec jachère. Les légumineuses incorporées dans la rotation réduisent considérablement le besoin d'engrais azotés supplémentaires et améliorent ainsi l'efficacité énergétique.

RECOMMANDATIONS

Jachère d'été

La jachère d'été demeure une option légitime pour les systèmes de culture dans l'Ouest du Canada. Son rôle et son utilisation recommandée dépendent de l'interaction du sol, du climat et des aspects économiques. Sur les sols bruns et brun foncé où le manque d'humidité est le principal facteur limitatif du rendement, il faut avoir recours à la jachère d'été et à des techniques de gestion de la neige pour reconstituer les réserves d'humidité du sol et réduire ainsi les risques économiques. Sur les sols noirs et gris où l'humidité est habituellement suffisante, il ne faut utiliser la jachère d'été que pour lutter contre les parasites autrement difficiles à atteindre ou lorsqu'il y a risque de sécheresse.

Afin de réduire la dégradation du sol associée à la jachère, il faut :

- réduire la fréquence de jachère de la rotation à une fois tous les 3 ou 4 ans sur les sols bruns et brun foncé
- recourir à des jachères partielles (par exemple, affouragement en vert ou foin de céréales) sur les sols noirs et gris
- adopter des techniques de gestion des sols permettant de conserver les résidus de culture (par exemple, déchaumage superficiel).

Pour lutter plus efficacement contre les mauvaises herbes sur la jachère d'été, appliquer des herbicides tels que le 2,4-D à la fin de l'automne ou au début du printemps, ce qui permet de retarder le premier labour jusqu'au début de l'été.

Fourrages vivaces

Sur les sols noirs, gris foncé et gris, les fourrages vivaces incorporés dans les rotations améliorent la qualité des sols, la nutrition et le rendement des cultures. Des rotations de longue durée de blé de printemps avec plusieurs années de fourrage produisent des résultats économiques nets favorables.

Sur les sols bruns et brun foncé, les fourrages vivaces à racines profondes enlèvent trop d'humidité du sol, leur utilisation n'est donc pas recommandée pour les rotations à base de céréales.

Cultures subséquentes

L'influence de chaque culture sur la culture suivante de la rotation dépend :

- de l'utilisation de l'humidité du sol par la première culture
- des effets sur la fertilité résiduelle
- des effets sur les populations de parasites
- des effets indéterminés d'une culture sur l'autre.

Par exemple, les cultures d'oléagineux comme le lin et le canola épuisent généralement moins l'humidité du sol que les céréales. Les oléagineux peuvent donc accroître le rendement potentiel des cultures suivantes sur les sols plus secs. Les mêmes cultures, notamment le lin, concurrencent mal les mauvaises herbes. La prolifération des mauvaises herbes peut anéantir le rendement des cultures suivantes. On croit que les légumineuses apportent aux autres cultures de la rotation des avantages autres que ceux produits par la fixation de l'azote.

Quel que soit le système de culture utilisé, les cultures en rotation aident périodiquement à lutter contre certaines mauvaises herbes, maladies et insectes.

Engrais

Les systèmes de culture intensive entraînent une baisse de la fertilité sur les sols indigènes et les engrais deviennent de plus en plus importants pour la culture en rotation. Les engrais utilisés de façon

appropriée permettent généralement d'augmenter le revenu net prévu en accroissant le rendement. Les engrais permettent également

- d'accroître l'efficacité de l'utilisation de l'humidité en stimulant la croissance des racines
- d'améliorer la retenue de la neige et la conservation de l'humidité en augmentant le volume de résidus de culture à la surface du sol
- d'améliorer la productivité à long terme du sol en augmentant la teneur et la qualité des matières organiques.

Leur utilisation pourrait *ne pas* convenir aux rotations à fréquence élevée de jachère ou de légumineuses, ou lorsque le coût des engrais est trop élevé.

Même si les engrais à base d'ammoniaque peuvent abaisser le pH du sol, sur la plupart des sols, l'acidification ne peut devenir un problème important qu'après de nombreuses années.

Pratiques culturales

Les pratiques culturales influent fortement sur la qualité des sols dans les rotations de cultures à long terme. En fait, en adoptant des pratiques de culture économiquement viables orientées vers la conservation, la productivité du sol peut être maintenue à un niveau acceptable. Après le travail initial du sol, la concentration de matières organiques de la plupart des sols diminue. L'utilisation appropriée des séquences de culture, des pratiques de labour et des engrais peut arrêter et même renverser cette diminution. Le rendement des cultures sur sols arables s'accroît généralement avec le temps. On ne connaît pas l'apport des progrès variétaux et techniques sur cet accroissement, ni celui de la dynamique de la qualité des sols. La baisse de productivité des sols n'est pas nécessairement inévitable pour tous les producteurs, malgré les prévisions.

On ne recommande pas le labour d'automne sur les sols bruns et brun foncé, il pourrait cependant offrir des avantages dans les régions plus humides où les résidus de culture sont en excès.

Le fumier de ferme est une très bonne source d'éléments nutritifs que l'on peut se procurer facilement et qui améliore la qualité du sol et augmente le rendement. On encourage fortement les producteurs à l'utiliser, s'ils en ont la possibilité.

Choix des cultures

Le système de culture idéal doit demeurer souple dans la plupart des conditions, le choix des cultures étant fait en fonction des :

- réserves d'humidité du sol
- variables économiques
- infestations de mauvaises herbes ou de parasites.

La séquences des cultures peut maintenant être suffisamment souple pour exploiter les modifications des conditions économiques et agronomiques. Bien que la plupart des producteurs mènent des

stratégies de culture à long terme, on encourage les révisions à court terme afin de répondre à la modification des facteurs économiques et climatiques.

Qualité de l'environnement

Lors de la prise de décisions relatives aux stratégies de culture, il ne faut pas seulement tenir compte des avantages à court terme, mais également des effets à long terme sur la qualité du sol et de l'environnement. Les pratiques agronomiques influent fortement sur

- la concentration de matières organiques
- l'érodibilité du sol
- le pH du sol
- l'activité biotique du sol
- la structure du sol et la couche arable
- d'autres aspects de la qualité du sol.

Les diverses pratiques de culture suivantes ont des effets moins bien connus, mais également importants sur l'environnement :

- le lessivage des nitrates
- l'évolution du bioxyde de carbone et des oxydes d'azote
- la contamination de la nappe phréatique par les pesticides
- l'accumulation de pesticides dans le sol et les produits agricoles.

Il faut tenir compte de toutes ces ramifications dans la conception de systèmes de culture optimums.

RESTRICTIONS

Les présentes recommandations sont basées sur les résultats d'expériences de rotation ayant certaines restrictions inhérentes. Les études de rotation sont limitées à quelques sites. Par exemple, Swift Current, l'unique site qui se trouve sur les sols bruns, est habituellement beaucoup plus humide que la plupart des sols de la zone. La plupart des résultats proviennent de sols relativement productifs, de topographie uniforme et de texture moyenne. Les résultats sont également influencés par

- le nombre limité de cultures examinées
- l'absence de répétition de certaines études à long terme
- les éventuels effets perturbateurs des changements apportés progressivement aux variétés et aux pratiques de culture.

En raison des changements apportés aux pratiques agricoles, les systèmes de culture qui sont généralement recommandés actuellement peuvent ne pas avoir fait l'objet d'études à long terme.

RECHERCHES À VENIR

Plusieurs aspects agronomiques méritent un examen plus approfondi ou peuvent être améliorés grâce à des études à venir sur la rotation des cultures. On dispose encore de peu de données sur l'influence des pratiques de culture sur l'infestation par les mauvaises herbes, les maladies et les insectes.

L'étude des paramètres du sol est limitée à quelques expériences. Les pratiques ou les composantes de culture qui méritent d'être traitées en priorité à l'avenir sont :

- les systèmes de production organiques ou de conservation
- les systèmes de culture souples qui réduisent les risques économiques sans recourir à une jachère fréquente
- les systèmes de jachère partielle utilisant l'engrais vert de légumineuses, surtout les vivaces dans les régions sèches
- une gestion plus efficace de la neige dans les régions sèches
- des systèmes de culture plus diversifiés utilisant un plus grand nombre d'espèces
- l'effet du lin sur les cultures subséquentes en rotation
- le labour de conservation et ses conséquences sur le maintien de la qualité du sol et de l'environnement.

On a réellement besoin d'une approche globale en équipe pour mener les recherches sur la rotation des cultures en agriculture de conservation.